

# TRANSMETTRE ET STOCKER DE L'INFORMATION

# LES PROCÉDES PHYSIQUES DE

# TRANSMISSION

## I. LA PROPAGATION D'UN SIGNAL

La propagation d'un signal portant des informations se divise en deux catégories:

- **La propagation guidée** : on parle d'une propagation guidée lorsque le signal est obligé de se propager suivant une direction définie entre l'émetteur et le récepteur. La transmission par câble ou par fibre optique est une propagation guidée.

- **La propagation libre** : la propagation est dite libre lorsque le signal peut se propager dans toutes les directions. La transmission par ondes électromagnétiques (hertziennes) est une propagation libre.

## II. LES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSMISSION

Il existe différents modes de transmission d'information avec ou sans support physiques. On peut citer les principaux modes comme la transmission onde électromagnétique (transmission hertziennes), par câble et par fibre optique...

# **1. LA TRANSMISSION HERTZIENNE OU PAR ONDES ELECTROMAGNETIQUES**

Dans ce type de transmission, les informations sont portées par des ondes électromagnétiques comme par exemple les ondes radio. Elles se propagent dans l'air à la vitesse de la lumière (propagation libre). Le principal problème de transmissions par ondes hertziennes est que le signal à transmettre est souvent atténué par la présence d'autres ondes électromagnétiques dans le milieu (Air) ayant des fréquences très proches de celle du signal, comme les ondes sonores ou autres...

Une des solutions consiste à effectuer une modulation du signal à transmettre en le faisant porter par une sinusoïdale de fréquence donnée, appelée la porteuse.

Pour les ondes radio, on distingue :

- Une modulation d'amplitude (AM) : dans ce cas, l'amplitude de la porteuse est variée.
- Une modulation de la fréquence (FM) : dans ce cas, la fréquence de la porteuse est modifiée.

Les signaux sont ensuite envoyés à l'aide des antennes d'émission qui vont transformer les signaux électriques de la modulation en ondes radio. Ces ondes sont ensuite récupérées par les antennes de réception qui à leur tour vont transformer les ondes radio en signaux électriques. Le signal initial est finalement reconstitué par le démodulateur.

Quelques exemples des systèmes utilisant la transmission hertzienne : Radio (AM et FM), TNT, GPS, Wifi, Téléphone portable...

***Avantages et inconvénients de la transmission hertzienne :***

La transmission par ondes électromagnétiques se caractérise par une mise en service relativement simple et peu coûteuse (pas besoin d'installation spécifique pour la transmission) mais aussi par son ergonomie et sa facilité d'utilisation : absence de support matériel avec une réception relativement simple à effectuer.

Mais, ses inconvénients sont nombreux :

- Sensibles aux perturbations des autres ondes électromagnétiques (risque de brouiller facilement, manque de sécurité des données)
- Les bandes de fréquence sont limitées. Quelques fréquences sont réservées à des services comme les pompiers, la police...
- Nécessité d'un cryptage lors de la transmission des informations confidentielles (La transmission par câble ou fibre optique est beaucoup plus sécurisée).

## **2. LA TRANSMISSION PAR CÂBLE**

Les câbles utilisés dans la transmission sont constitués des fils électriques recouverts d'une gaine d'isolation. Malgré présence d'une couche isolante, ces câbles sont souvent soumis aux perturbations électromagnétiques extérieures, en particulier des fils mitoyens.

Les câbles se présentent sous différentes formes comme les câbles paires torsadés et les câbles coaxiaux.

- **Les câbles paires torsadés** : dans ce type de câbles, les fils sont torsadés deux à deux. L'inconvénient de ce type de câble est l'atténuation du signal et la sensibilité aux perturbations extérieures. A titre d'exemple d'utilisation de ce type de câbles on les trouve dans les réseaux informatiques de type Ethernet et autres...
- **Les câbles coaxiaux** : Le câble coaxial ou ligne coaxiale est une ligne de transmission ou liaison asymétrique, utilisée en hautes fréquences, composée d'un câble à deux conducteurs. Le cœur de ses câbles est constitué des fils électriques (souvent en Cuivre ou en cuivre argenté), recouverts d'un isolant suivi d'une tresse en cuivre (ou en feuille d'aluminium enroulée) et d'une gaine extérieure en plastique (se référer à la figure 1 représentant la composition en couche d'un câble coaxial). La tresse en cuivre a pour rôle d'isoler le fil électrique des perturbations électromagnétique extérieures. On trouve ce type de câbles par exemple dans les câbles de télévision (entre la prise de l'antenne et la télévision), les équipements de traitement du son (microphone, amplificateur, lecteur CD...), les câbles sous-marins... Les câbles coaxiaux sont progressivement remplacés depuis la fin du XXème siècle par la fibre optique, en particulier pour les utilisations sur des longues distances supérieures à un kilomètre.

Lors de la transmission par câble, les informations sont transmises sous forme de signaux électriques.

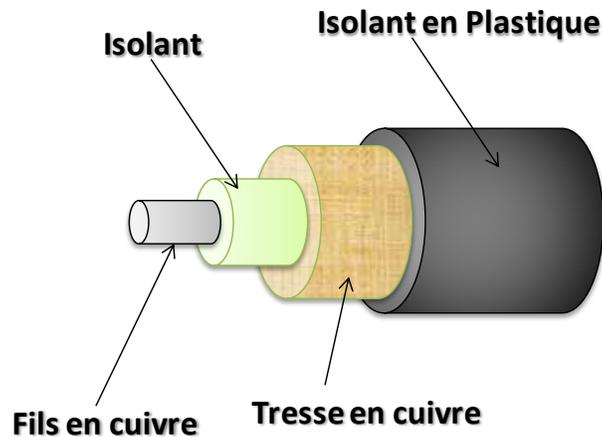


Figure 1 : La constitution d'un câble coaxial

Les avantages des câbles sont nombreux :

- Simple et peu onéreux à fabriquer
- Très pratique pour les transmissions courtes distances
- Possibilités de communications simultanées

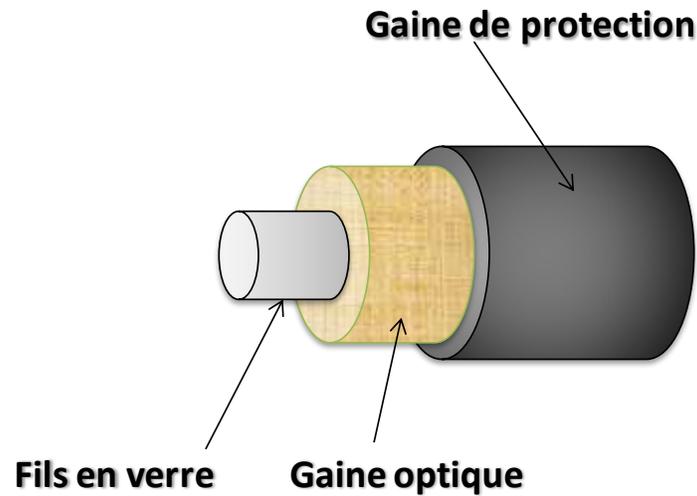
Mais, ce mode de transmission a aussi ses points faibles, comme par exemple:

- Une sensibilité élevée aux perturbations électromagnétiques extérieures
- Un coût d'installation et d'entretien relativement élevée pour les transmissions de longue distance
- Une atténuation assez importante sur des moyennes et longues distances.

### **3. LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE**

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin (10 à 200  $\mu\text{m}$ ), entouré d'une gaine optique recouverte d'une gaine de protection (Figure 2). La transmission s'effectue à l'aide d'un

faisceau lumineux (provenant d'un laser). Ce qui rend ce processus de transmission est très rapide comparé aux modes utilisant des signaux électriques de transmission, du fait que les informations sont transmises à la vitesse de la lumière.



**Figure 2 : La constitution d'une fibre optique**

La fibre optique a la propriété d'être conducteur de la lumière. Le principe de transmission se base sur le phénomène de réflexion totale, selon la loi de Snell-Descartes.

Les fibres optiques sont groupées en deux catégories : les fibres monomodales et multimodales (fibre a saut d'indice et fibre à gradient d'indice).

**Les fibres monomodales :** le cœur de la fibre a un diamètre très faible de l'ordre de 2 à 10 $\mu$ m. La transmission est axiale (Figure 3). Ce type de fibres est utilisé pour les transmissions de longues distances des centaines à des milliers de km.

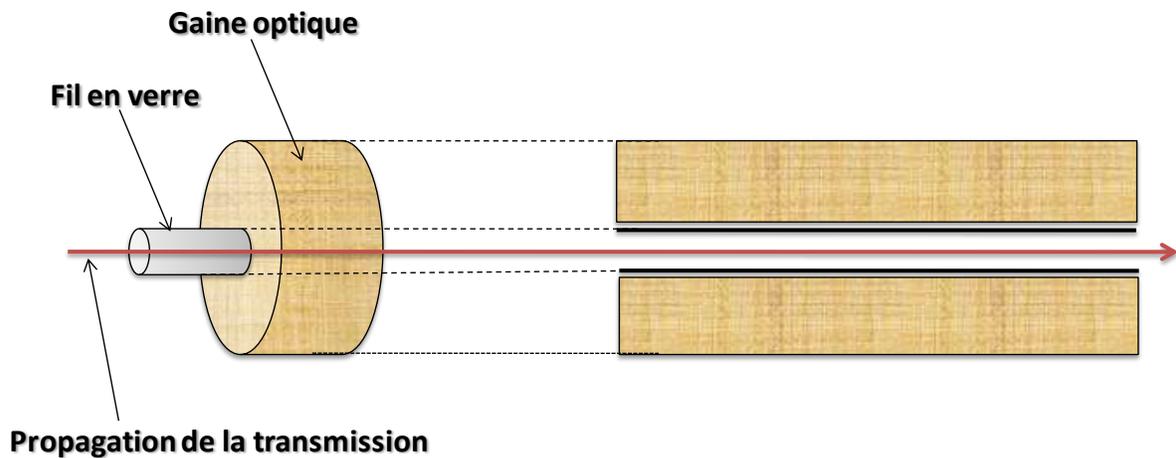


Figure 3 : Le mode de propagation à l'intérieur d'une fibre optique monomodale

**Les fibres multimodales à saut d'indice :** le diamètre du cœur de la fibre est de 50 à 62,5  $\mu\text{m}$ . La transmission se fait par des réflexions totales du faisceau lumineux à l'interface fil en verre/gaine optique. Ces réflexions totales sont gérées par la loi de Snell-Descartes entre deux milieux d'indices de réfraction différentes ( $n_1$  et  $n_2$ ) :  $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$ .

Pour cette loi, il existe d'un domaine d'angles ( $\theta_{max}$ ) pour lequel la lumière se propageant dans le cœur subit une réflexion totale (Figure 4).

$\theta_{max}$  se nomme l'ouverture numérique. Au dessus de cet angle, les faisceaux lumineux sortiront de la fibre. En-dessous de cette valeur, dans une fibre à saut d'indice, tous les faisceaux se propageront dans le cœur en se réfléchissant à l'interface fibre en verre/gaine optique, jusqu'à la sortie à l'autre extrémité de la fibre optique.

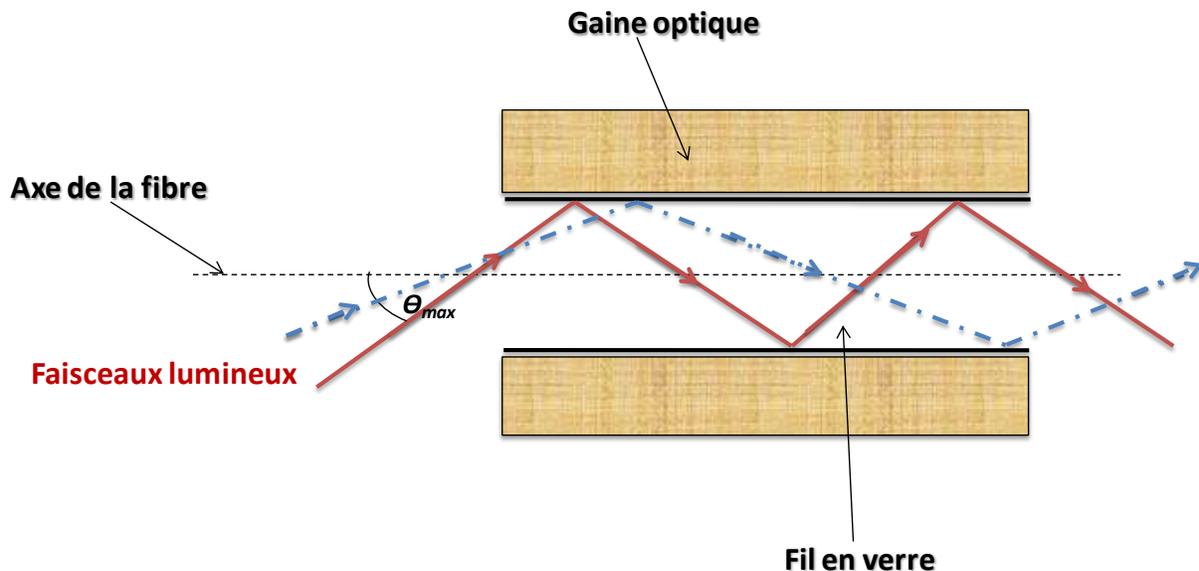


Figure 4 : La transmission à l'intérieur d'une fibre optique multimodale à saut d'indice

Un faisceau lumineux est constitué de plusieurs rayons. Tous les rayons incidents, ayant des angles inférieurs à  $\theta_{max}$  vont se réfléchir totalement à l'interface fil en verre/gaine optique mais à des instants différents. Donc, ils ne vont pas arriver en même temps à la sortie de la fibre, ce qui provoque une déformation du signal reçu (autrement appelé un étalement du signal dans le temps). Un tel problème est relativement résolu avec les fibres optiques à gradient d'indices.

**Les fibres multimodales à gradient d'indice :** le diamètre du cœur de la fibre est de 50 à 62,5  $\mu\text{m}$ . La transmission se fait par des signaux sinusoïdaux à l'intérieur de la fibre (Figure 5). Ainsi, le signal a la forme d'une courbe, ce qui réduit la déformation du signal comparé à la fibre à saut d'indice.

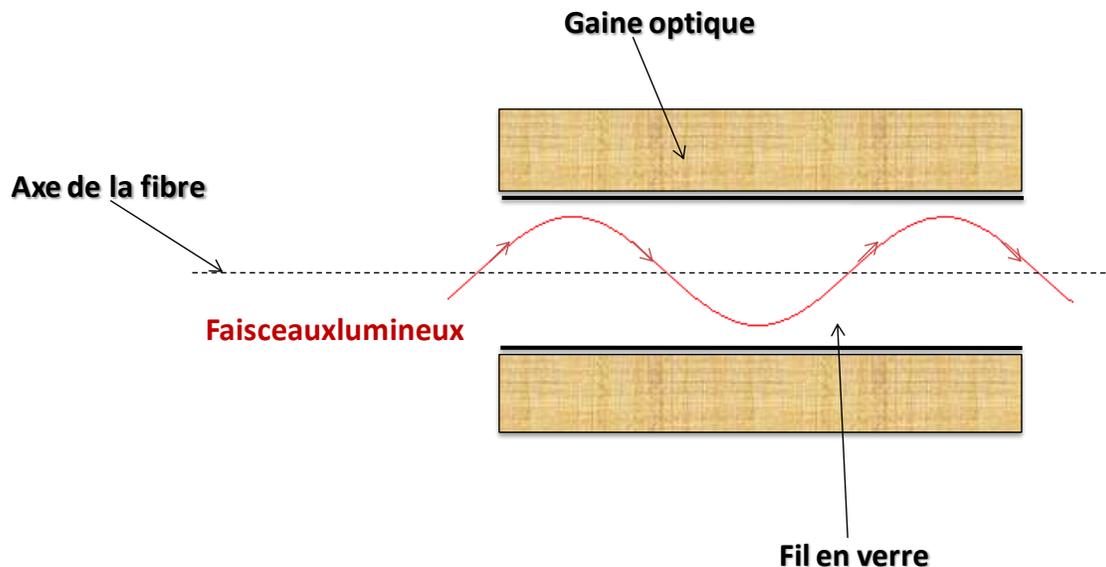


Figure 5 : La transmission à l'intérieur d'une fibre optique multimodale à gradient d'indice

**Avantages et inconvénients de la transmission par fibre optique :**

La transmission par fibre optique se caractérise par :

- Un très haut débit de transmission (possibilité d'utilisation pour des longues distances)
- Une insensibilité aux perturbations électromagnétiques extérieures (pas de possibilités d'interférer les signaux et donc une meilleure sécurité informatique)
- Une faible atténuation du signal
- Le prix de l'entretien est relativement acceptable

Par contre, les fibres optiques présentent quelques inconvénients, en particulier leur prix d'installation relativement élevé et leur fragilité (les fibres de verre présentes dans les fibres optiques sont fragiles, ce qui limite leurs courbures au risque de les casser).

### III. LES CARACTERISTIQUES D'UNE TRANSMISSION NUMERIQUE

#### 1. LE DEBIT BINAIRE

Le débit binaire (D) est égal à la quantité de données numériques pouvant être transférée par un signal par unité de temps.

Lors d'une transmission numérique, le débit binaire s'exprime en  $\text{bit.s}^{-1}$  ou en  $\text{octet.s}^{-1}$ . Il est défini par l'équation 1 :

$$D = \frac{n}{\Delta t} \quad \text{Equation 1}$$

Avec, n est le nombre de bits du signal ;  $\Delta t$  = la durée en secondes (s)

**Remarque :** Pour un câble coaxial, le débit binaire est de l'ordre de  $100 \text{ mégabits.s}^{-1}$ , tandis que pour une fibre optique, le débit binaire est beaucoup plus élevé de l'ordre de  $100 \text{ gigabits.s}^{-1}$ . Ils existent des fibres optiques, à l'échelle laboratoire, avec des débits binaires de  $\text{téraabits.s}^{-1}$ .

#### 2. L'ATTENUATION D'UN SIGNAL

La transmission numérique se caractérise par son débit binaire (D) mais aussi par l'atténuation subie par le signal au cours de sa transmission.

En effet, l'atténuation du signal est due à un affaiblissement résultant d'un phénomène de dissipation d'énergie (perte d'énergie par effet joule). La puissance du signal en sortie ( $P_S$ ) est inférieure à sa puissance en entrée ( $P_E$ ).

Les signaux transmis sur des longues distances sont très atténués, en particulier lors de la transmission par câble.

L'atténuation ( $A$ ), aussi nommée affaiblissement, est définie par :

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{Entrée}}}{P_{\text{Sortie}}} = -10 \cdot \log \frac{P_{\text{Sortie}}}{P_{\text{Entrée}}} \quad \text{Equation 2}$$

Avec,  $A$  en décibel (dB);  $P_{\text{Entrée}}$  et  $P_{\text{Sortie}}$  en Watt (W) les puissances à l'entrée et à la sortie du signal, respectivement.

Si  $P_{\text{Entrée}}$  est toujours  $\geq$  à  $P_{\text{Sortie}}$  :  $\frac{P_{\text{Entrée}}}{P_{\text{Sortie}}}$  est toujours  $\geq$  à 1 et  $\log \left( \frac{P_{\text{Entrée}}}{P_{\text{Sortie}}} \right)$  est toujours  $\geq$  0.

Donc, L'atténuation ( $A$ ) est toujours positive ou nulle ;

L'Atténuation s'annule si  $P_{\text{Entrée}} = P_{\text{Sortie}} \Rightarrow A = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{Entrée}}}{P_{\text{Entrée}}} = 10 \cdot \log 1 = 10 \cdot 0 = 0$ . Ainsi, la transmission est dite « idéale ».

### 3. LE COEFFICIENT D'ATTENUATION LINEIQUE

Lors de la transmission numérique, la longueur (L) de la ligne influe sur l'atténuation du signal. En augmentant la longueur d'une ligne de transmission, l'atténuation du signal devient plus forte.

L'influence de la longueur de la ligne sur l'atténuation peut être évalué en calculant le coefficient d'atténuation linéique ( $\alpha$ ). Ce coefficient est défini comme suit :

$$\alpha = \frac{A}{L} = \frac{10}{L} \log \frac{P_{\text{Entrée}}}{P_{\text{Sortie}}} = -\frac{10}{L} \log \frac{P_{\text{Sortie}}}{P_{\text{Entrée}}} \quad \text{Equation 3}$$

Avec :  $\alpha$  est le coefficient d'atténuation en  $\text{dB.m}^{-1}$ ; A est l'atténuation du signal en dB; L est la longueur de la ligne numérique en mètres (m);  $P_{\text{Entrée}}$  et  $P_{\text{Sortie}}$  sont les puissances en du signal à l'entrée et à la sortie de la ligne, respectivement.

A titre de comparaison, le coefficient d'atténuation linéique d'une transmission par câble est de l'ordre de  $0,3 \text{ dB.m}^{-1}$ , tandis que celui d'une transmission par fibre optique est de l'ordre de  $0,2 \text{ dB.Km}^{-1} = 0,2.10^{-3} \text{ dB.m}^{-1}$ . Ce qui justifie l'importance des fibres optiques pour les transmissions de longues distances.

## 4. COMPLEMENT D'INFORMATION : LE RAPPORT SIGNAL/BRUIT

Le bruit constitue les phénomènes qui risquent d'atténuer un signal lors de sa transmission. Le bruit représente en pratique les parasites provenant de plusieurs phénomènes : défauts dans la ligne, les perturbations électromagnétiques extérieures...

En présence d'un bruit important, l'extraction d'un signal devient difficile du fait d'une forte atténuation de ce signal. Le rapport signal/bruit (RSB) permet d'évaluer l'influence du bruit sur le signal. Il est définie par :

$$RSB = 10 \cdot \log \frac{P_{Signal}}{P_{Bruit}} \quad \text{Equation 4}$$

Avec :  $P_{Signal}$  et  $P_{Bruit}$  sont les puissances en W du signal et du bruit, respectivement.

Plus le RSB est fort, plus le signal apparaît nettement. Dans le cas où le RSB est nul ou même négatif, le signal est atténué à cause d'un fort bruit rendant son extraction très difficile.